

**DESAIN AWAL SISTEM LANDASAN MEKANIK  
PADA PROTOTIPE RADIOGRAFI DAN CT SINAR-X  
UNTUK INDUSTRI MANUFAKTUR**

**Nur Khasan, Budi Harjono**  
**Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN**  
**Gedung 71, Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15314**  
[hasanur@batan.go.id](mailto:hasanur@batan.go.id)

**ABSTRAK**

**DESAIN AWAL SISTEM LANDASAN MEKANIK PROTOTIPE RADIOGRAFI DAN CT SINAR-X UNTUK INDUSTRI MANUFAKTUR.** Desain sistem landasan pada prototipe radiografi dan CT sinar-X untuk industri manufaktur telah dilakukan untuk pondasi dudukan dari seluruh perangkat dalam skala percobaan. Desain ini dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan ketelitian posisi setiap perangkat, beban-beban berat yang ditumpu dan penempatan benda uji. Landasan ini merupakan bagian dari sistem mekanik untuk mendukung sistem perangkat lainnya seperti pesawat sinar-X denganudukannya, sistem meja putar dengan seluruh arah gerakannya dan sistem kotak fluoroskopi sebagai penangkap citra. Dengan sistem landasan mekanik ini, prototipe radiografi dan CT sinar-X diharapkan dapat dioperasikan dengan posisi benda uji yang dapat bergerak arah x-y-z dengan kepresisian dalam skala percobaan. Bahan dan komponen dasar untuk sistem landasan mekanik yang digunakan dalam desain ini adalah batu granit sebagai bahan dengan pertimbangan konstruksi yang kokoh, menyerap getaran dan tidak mengalami pemuaian akibat suhu; komponennya adalah batangan luncur pabrikan lengkap dengan blok sepatu dan perangkat penggerak standar seperti kolom pengangkat serta aktuator linier. Untuk kebutuhan landasan pokok, dilakukan perhitungan dimensi dengan berdasarkan pada pertimbangan massa jenis granit sebesar  $2691 \text{ kg/m}^3$ . Beban total massa terhadap landasan yang dipersyaratkan adalah maksimal 300 kg. Dari desain ini dihasilkan satu sketsa sistem landasan mekanik yang digunakan untuk tumpuan dari perangkat prototipe radiografi dan CT sinar-X untuk industri manufaktur.

Kata kunci : Sistem landasan, Prototipe radiografi, Granit.

**ABSTRACT**

**A PRE DESIGN OF MECHANICAL BASE SYSTEM ON RADIOLOGY PROTOTYPE FOR INDUSTRIAL MANUFACTURE AND X-RAY CT.** A pre design of mechanical base system on radiology prototype for industrial manufacture and X-ray CT has been done as the base of all prototype devices in experimental scale. The design has been carried out by considering the needs of the position precision of each device, heavy loads supported and the placement of specimens. The mechanical base is the mechanical part to support other devices system such as the X-ray machine with the base, rotary table systems with all their directions of motion and fluoroscopy box system as an image capture. By this mechanical base system, the radiology prototype and X-ray CT can be operated and the test object can be positioned in the direction of x-y-z within experimental scale precision. Material and basic component which are used in this design are granite stone as it is sturdy, absorbs vibration and does not experience expansion due to temperature; while the component is manufacturer's sliding bars provided by shoe blocks, standard drive devices such as lifting column, and linear ac tuator. For the need of basic base the dimensions are calculated based on the granite density of  $2691 \text{ kg/m}^3$ . The required total mass on the base is 300 kg maximum. The result of this design is a sketch of the mechanical base system that is used to support of radiographic prototype devices and X-ray CT for industrial manufacture.

Keywords: Base System, Radiology Prototype, Granite.

## 1. PENDAHULUAN

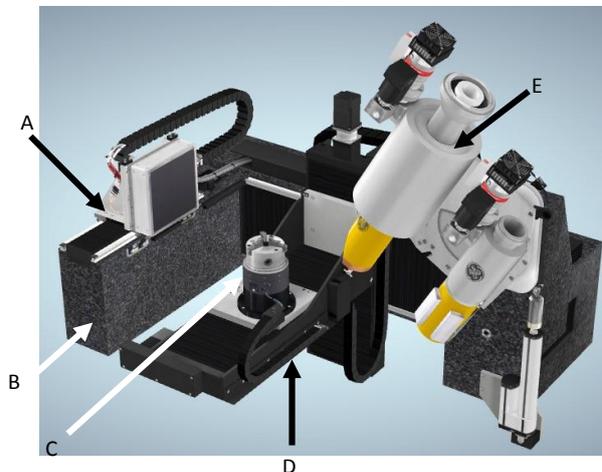
Pada tahun 2015 dan 2016 kegiatan perekayasaan perangkat alat uji deteksi kerusakan tak merusak atau *Non Destructive Examination* (NDE) radioskopi di Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) sampai pada tahap pembuatan kotak fluoroskopi (kotak NDE), meja putar dan analisis data hasil citra dari kamera, baik berupa *image* maupun video. Selain itu, untuk kegiatan perangkat lunak, telah berhasil dilakukan pengolahan citra dari gambar 2 dimensi yang dihasilkan dan juga integrasi perangkat lunak dengan meja putar yang akan digunakan. Kegiatan perekayasaan perangkat NDE radioskopi tahun 2017 adalah merupakan kegiatan lanjutan yang mencakup pembuatan desain perangkat keras (terdiri dari modul mekanik dan elektrik) dan modul perangkat lunak rekonstruksi tomografi 2 dimensi dengan hasil citra digital yang dapat disimpan (*computed tomography* atau CT). Kemudian data citra diolah menggunakan software akuisisi untuk dapat dianalisis. Kegiatan NDE tahun 2017 selanjutnya disebut kegiatan perekayasaan prototipe digital radiografi dan CT sinar-X dengan inisialisasi NDE-RCT.

Perangkat keras dalam lingkup modul mekanik merupakan integrasi dari komponen gerak dan komponen penggerak dalam keperluan operasional perangkat NDE-RCT yang terintegrasi pada sistem landasan mekanik. Dalam makalah ini dibahas pelaksanaan desain awal untuk pembuatan sistem landasan mekanik pada NDE-RCT.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1. Digital Radiografi Tomografi Sinar-X (NDE-CT)

Perangkat NDE yang banyak digunakan untuk industri manufaktur saat ini adalah perangkat NDE yang berbasis tomografi sinar-X. Kelebihan NDE berbasis tomografi sinar-X adalah kemampuannya dalam menampilkan bagian sisi dalam suatu objek dari berbagai sudut pandang. Di samping itu, alat ini juga dapat menampilkan penampang lintang objek lembaran demi lembaran, hasil gambar penampang lintang berupa gambar 2 dimensi (2D) digital radiografi yang langsung dapat disimpan dalam format digital sehingga memberikan efisiensi dan efektifitas pengujian yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan film. Untuk melihat gambar dari berbagai sudut panjang objek diputar sebanyak  $360^\circ$  dengan menggunakan meja putar yang secara terintegrasi dikendalikan oleh penangkap citra, kemudian hasil gambar selanjutnya akan direkonstruksi dengan aplikasi software tertentu agar citra lembaran dapat dilihat secara utuh kembali menjadi gambar 2D<sup>[1]</sup>. Integrasi dari sistem NDE-CT yang selanjutnya disebut NDE-RCT diperlihatkan tipikal pada Gambar 1 di bawah ini yang menjadi salah satu referensi desain awal yang dilakukan.



Gambar 1. Sistem Tomografi Citra Sinar-X Tipikal Untuk Industri<sup>[2]</sup>

Penunjukkan integrasi NDE-CT yang diperlihatkan pada Gambar 1 adalah hanya merupakan bentuk referensi desain, bukan konstruksi atau integrasi yang akan dihasilkan dalam kegiatan desain ini. Terlihat bahwa dalam satu sistem integrasi NDE-RCT terdapat beberapa bagian perangkat sebagai berikut :

1. Sistem kotak radioskopi/kotak NDE (A),
2. Sistem landasan dasar berbahan batu granit (B),
3. Sistem meja putar untuk penempatan objek uji (C),
4. Sistem gerak arah x-y-z (D),
5. Sistem pesawat sinar-X (E).

## **2.2. Batu Granit.**

Batu granit merupakan batuan terobosan yang terbentuk melalui proses pembekuan magma di permukaan bumi dengan temperatur yang stabil. Granit memiliki sifat asam dan berbutir kasar hingga sedang; serta berwarna terang keabuan, kecoklatan, dan kemerahan. Selain itu batu granit juga merupakan jenis batuan intrusif, felsik, igneus yang umum dan banyak ditemukan. Pada umumnya wujud dari batu granit adalah dalam bentuk yang besar, keras dan kuat, sehingga banyak digunakan sebagai bahan untuk konstruksi. Kata granit berasal dari bahasa Latin yaitu granum. Dalam bidang industri dan rekayasa, granit banyak dipakai sebagai bidang atau landasan acuan dalam berbagai pengukuran dan alat pengukur, karena granit bersifat kedap air, kaku/kokoh (*rigid*), non-higroskopis dan memiliki koefisien ekspansi termal yang sangat rendah. Salah satu penggunaan granit adalah pada mesin pengukur koordinat (*Coordinate Measuring Machine*)<sup>[3]</sup>. Secara umum telah diketahui bahwa massa jenis ( $\rho$ ) batu granit adalah 2691 kg/m<sup>3</sup>.

## **3. TATA KERJA**

Kegiatan desain dilakukan dalam beberapa tahapan antara lain persyaratan desain, desain awal landasan dasar, desain konfigurasi awal dan pemilihan komponen standar.

### **3.1. Persyaratan Desain**

Persyaratan desain dari sistem landasan mekanik NDE-RCT adalah :

1. Kuat/kokoh dan baik untuk menopang beban massa sampai dengan 300 kg,
2. Dapat mengakomodir untuk integrasi seluruh perangkat sistem,
3. Mudah untuk proses penempatan di lokasi posisi penempatan,
4. Memenuhi arah gerak dan memiliki presisi gerak yang terjaga terkait pengambilan citra benda uji (tahan terhadap getaran),
5. Terbuat dari bahan baku yang terjaga dari pemuaiannya akibat pengaruh suhu tinggi.

### **3.2. Desain Landasan Dasar**

Langkah awal dari pelaksanaan desain adalah pembuatan gambar sketsa bentuk landasan dasar dengan mengacu pada gambar referensi seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Gambar sketsa referensi awal ini digunakan untuk perkiraan bentuk dan pertimbangan perhitungan massa bahan sampai dengan kemungkinan pelaksanaan integrasi. Gambar sketsa menunjukkan bahwa landasan dasar (b) berbentuk blok padatan batu granit dengan dimensi tertentu. Landasan dasar akan diintegrasikan dengan kotak radioskopi, sistem gerak x-y-z dan pesawat sinar-X yang dipasang pada posisi dudukannya. Pembuatan sketsa dilakukan dengan mengacu pada persyaratan desain. Sketsa awal ini akan digunakan untuk penetapan bentuk landasan dasar yang sesuai dan menjadi acuan langkah desain awal berikutnya. Pembuatan sketsa awal dilakukan berdasarkan pada acuan referensi konstruksi yang didapatkan dari Gambar 1 di atas yang merupakan gambar referensi dari literatur<sup>[2]</sup>.

### 3.3. Pembuatan Konfigurasi Sistem Landasan

Pembuatan konfigurasi dilakukan dengan mengacu pada sketsa desain landasan dasar yang telah dibuat. Konfigurasi yang dihasilkan berupa gambar sketsa seperti ditunjukkan pada uraian pembahasan. Pada gambar terlihat lengkap bagian-bagian perangkat yang akan terintegrasi sehingga menjadi desain awal lengkap dari sistem landasan mekanik NDE-RCT. Konfigurasi ini juga digunakan dalam pemilihan komponen atau perangkat standar yang kemungkinan dibutuhkan.

### 3.4. Pemilihan Komponen Standar Pabrik

Berdasarkan gambar sketsa konfigurasi yang telah dibuat, dapat dilakukan pemilihan komponen standar pabrik untuk integrasi konstruksi mekanik sesuai dengan persyaratan desain. Untuk sistem gerak x-y-z seperti diperlihatkan dalam gambar pada pembahasan, digunakan beberapa integrasi komponen standar dengan konsep seperti berikut:

- untuk arah gerak x (membujur landasan dasar) digunakan kombinasi gerak perangkat aktuator standar dan batangan luncur yang akan menggerakkan blok blok granit c yang di atasnya dibawa sistem gerak arah z (melintang) berupa kolom pengangkat dan sekaligus ditempatkannya meja putar; sedangkan blok granit a cukup bergerak manual sekaligus dengan batangan luncur
- untuk arah y digunakan gerak manual dengan batangan luncur yang akan menggerakkan kolom pengangkat ke arah y (vertikal).
- untuk gerakan putar benda objek uji, digunakan meja putar standar

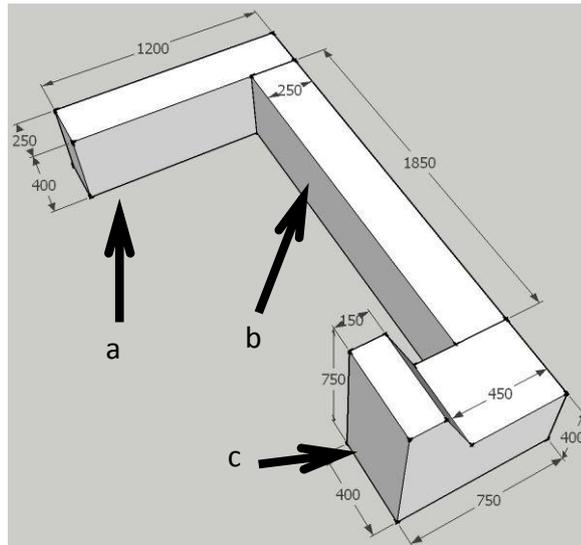
Berdasarkan konsep integrasi untuk kombinasi gerak yang didesain, dilakukan pemilihan komponen standar pabrik sebagai berikut :

1. untuk aktuator gerak x, digunakan *linier actuator* dari produk Hiwin dengan kode LAM 3 1 1 300 24 B<sup>[4]</sup>.
2. untuk aktuator gerak y digunakan *lifting colom* dari produk LINAK dengan kode LC2 5F 200 400 602D<sup>[5]</sup>.
3. untuk batangan luncur digunakan *linier guide way* dengan paket sepatunya dari produk Hiwin dengan kode HIWIN HGR25 *rail ways* dan HGH25CA *linear block bearing*<sup>[6]</sup>.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pekerjaan desain awal sistem landasan mekanik pada prototipe radiografi dan CT sinar-X untuk industri manufaktur telah dilakukan dengan beberapa tahap tata kerja. Tahap pertama adalah penentuan persyaratan desain. Secara umum, persyaratan desainnya berkaitan dengan kekokohan konstruksi, kemudahan penempatannya dan dapat terakomodirnya integrasi arah dari seluruh perangkat yang ada di atas landasan.

Tahap berikutnya adalah pembuatan desain awal. Pembuatan desain awal dilakukan dengan pembuatan gambar sketsa yang mengacu terhadap referensi konstruksi<sup>[2]</sup>. Berdasarkan pertimbangan persyaratan desain, dipilih bahan landasan dasar dengan batu granit. Bahan baku batu granit memenuhi persyaratan kekokohan yang dapat meredam getaran dapat terpenuhi dan juga memiliki efek pemuai yang rendah akibat pengaruh panas. Dimensi dari landasan dasar tentunya akan diperkirakan mampu menopang beban maksimal 300 kg yang dipersyaratkan, sehingga menjadi data teknis mekanik untuk keperluan proses pekerjaan desain awal yang lengkap. Gambar sketsa referensi awal seperti diperlihatkan pada Gambar 2 adalah dengan bahan baku batu granit padat. Pada akhirnya akan didapatkan sketsa desain awal yang dapat memenuhi persyaratan desain.



Gambar 2. Sketsa Referensi Awal Sistem Landasan Dasar NDE-RCT

Ditunjukkan pada Gambar 2 di atas bahwa landasan terdiri dari 3 buah blok granit yaitu a, b dan c dengan dimensi seperti tercantum pada gambar. Dengan bantuan *entity info* pada program aplikasi *google sketch-up*, didapatkan volume a = 120000000 mm<sup>3</sup> (0,12 m<sup>3</sup>), b = 185000000 mm<sup>3</sup> (0,185 m<sup>3</sup>) dan c = 151500000 mm<sup>3</sup> (0,1515 m<sup>3</sup>). Dari data-data dimensi tersebut, dapat dihitung massa sebagai berikut:

- massa blok a :

$$m_a = V_a \times \rho = 0,12 \text{ m}^3 \times 2691 \text{ kg/m}^3 = 322,92 \text{ kg}$$

- massa blok b :

$$m_b = V_b \times \rho = 0,185 \text{ m}^3 \times 2691 \text{ kg/m}^3 = 497,835 \text{ kg}$$

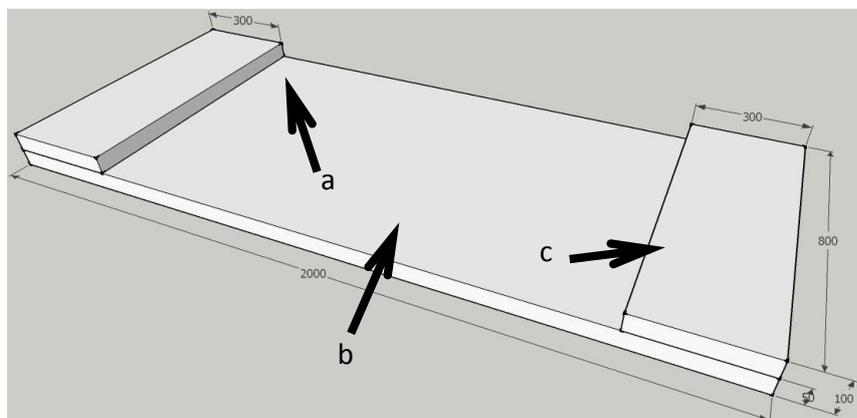
- massa blok c :

$$m_c = V_c \times \rho = 0,1515 \text{ m}^3 \times 2691 \text{ kg/m}^3 = 407,6865 \text{ kg}$$

sehingga total massa blok granit dari sketsa referensi adalah:

$$m = m_a + m_b + m_c = 322,92 \text{ kg} + 497,835 \text{ kg} + 407,6865 \text{ kg} = 1228,4415 \text{ kg}$$

Dari perhitungan massa total diperoleh beban massa blok granit desain sketsa referensi seberat 1,2 Ton. Massa yang sangat berat ini tentunya tidak memenuhi pertimbangan persyaratan desain tentang kemudahan penempatan. Selain itu, di PRFN BATAN tidak tersedia tempat dan peralatan pendukung untuk mengakomodir konstruksi landasan dengan massa seberat itu. Oleh karena itu, selanjutnya dibuatlah sketsa desain awal yang lebih sederhana dengan dimensi panjang 2000 mm x lebar 800 mm dan ketebalan 50 mm. Dimensi tersebut diperkirakan tetap memenuhi pertimbangan persyaratan desain. Sketsa desain ditunjukkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Sketsa Desain Awal Sistem Landasan Dasar NDE-RCT

Sketsa desain awal sistem landasan dasar NDE-RCT seperti pada Gambar 3 terdiri dari 3 buah blok *slab*/lempengan granit a, b dan c. Dengan dimensi seperti tercantum, diperoleh volume  $a = 12000000 \text{ mm}^3 (0,012 \text{ m}^3) = b$ , dan  $c = 80000000 \text{ mm}^3 (0,08 \text{ m}^3)$ . Kemudian dengan cara yang sama, dihitung massa untuk sketsa desain awal sebagai berikut:

- massa blok a = blok b :

$$m_a = m_b = V_a \times \rho = 0,012 \text{ m}^3 \times 2691 \text{ kg/m}^3 = 32,292 \text{ kg}$$

- massa blok c :

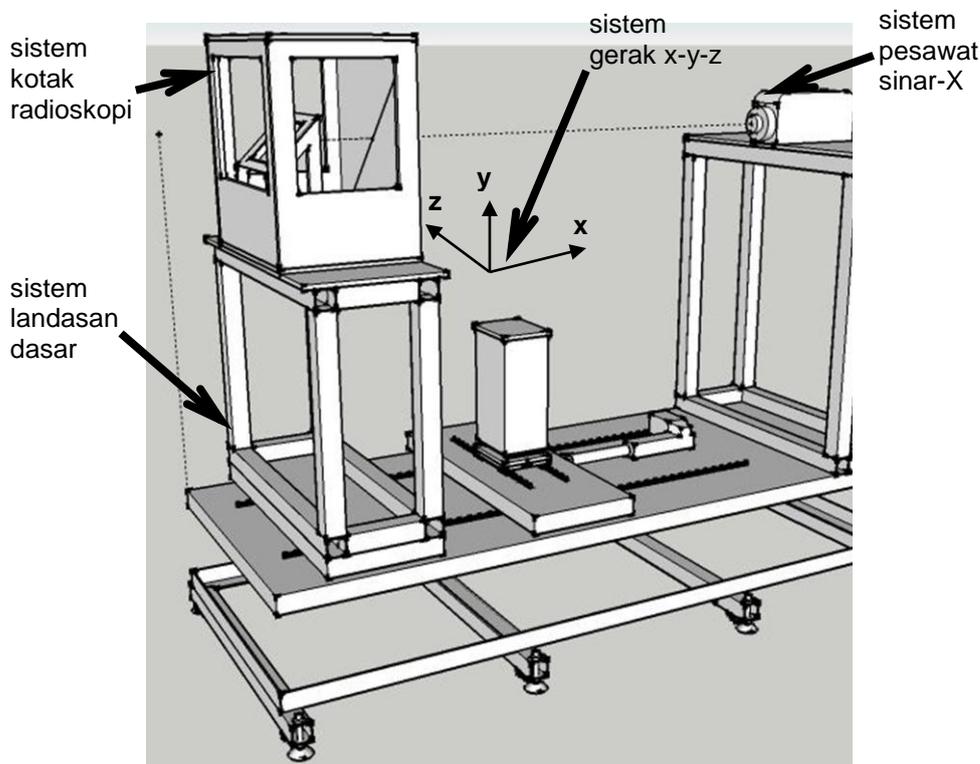
$$m_c = V_c \times \rho = 0,08 \text{ m}^3 \times 2691 \text{ kg/m}^3 = 215,28 \text{ kg}$$

sehingga total massa blok granit dari sketsa referensi adalah:

$$m = m_a + m_b + m_c = 32,292 \text{ kg} + 32,292 \text{ kg} + 215,28 \text{ kg} = 279,864 \text{ kg}$$

Dari perhitungan massa total, diperoleh beban massa blok granit desain sketsa untuk desain awal sebesar 280 kg. Massa yang jauh lebih ringan ini memenuhi pertimbangan persyaratan desain dan dimungkinkan penempatan di lokasi PRFN dengan alat pendukung yang ada. Dalam pembuatan gambar sketsa sistem landasan dasar diperhatikan persyaratan desain kemudian dimensi dan bentuk fisik dari komponen-komponen standar yang akan diintegrasikan.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan konfigurasi sistem landasan. Sketsa konfigurasi sistem landasan mekanik diperlihatkan pada Gambar 4 dimana terdapat empat sistem komponen terintegrasi yaitu sistem pesawat sinar-X dengan dudukannya, sistem gerak x-y-z dengan meja putar, sistem kotak radioskopi dengan dudukannya dan sistem landasan dasar. Dalam semua sistem tersebut, terdapat penggunaan bahan dan komponen standar atau pabrikan. Adapun hasil sketsa konfigurasi di atas adalah gambar sketsa tampilan tiga dimensi yang dibuat dengan menggunakan fasilitas *google sketchup* sebagai dasar acuan perkiraan konstruksi, integrasi komponen terkait dan bahan lainnya. Selanjutnya kelengkapan data mekanis, seperti ukuran/dimensi utama dan bahan konstruksi, akan diberikan pada desain awal gambar sketsa untuk menghasilkan gambar rinci pada tahap berikutnya.



Gambar 4. Sketsa Konfigurasi Sistem Landasan Mekanik NDE-RCT

Bahan utama dari sistem landasan mekanik adalah batu granit untuk bahan landasan dasar dengan pertimbangan konstruksi yang kokoh, mampu menyerap getaran dan tidak mengalami pemuaian akibat suhu, sedangkan komponen-komponen dasarnya adalah *Hollow Ss 50*, batangan luncur pabrikan lengkap dengan blok sepatu dan perangkat penggerak standar seperti kolom pengangkat dan aktuator linier.

Batangan luncur diperlukan untuk landasan sistem gerak arah x untuk menopang sistem kolom pengangkat dan kotak radioskopi yang digerakkan oleh aktuator linier. Batangan luncur juga digunakan dalam sistem gerak arah z untuk menopang kolom pengangkat yang juga digerakkan oleh aktuator linier.

Tahap akhir dari desain awal ini adalah pemilihan beberapa komponen atau perangkat standar terkait sistem gerak. Komponen atau perangkat standar ini akan diintegrasikan di atas landasan dasar sehingga menjadi satu kesatuan sistem landasan perangkat prototipe radioskopi dan CT sinar-X untuk industri manufaktur. Perangkat standar tersebut adalah:

1. *Linear actuator* untuk aktuator gerak x dari produk Hiwin dengan kode *LAM 3 1 1 300 24 B*; dimana *LAM 3 1* berarti bahwa kemampuan gerak dorong 6000 N, tarik 5000 N dan menahan 5000 N, serta angka *300* merupakan panjang gerakan, *24* adalah voltase motor standar dan *B* adalah warna bodi hitam.
2. *Lifting column* untuk aktuator gerak y dari produk LINAK dengan kode *LC2 5F 200 400 602D*; dimana *LC2* berarti kolom pengangkat, *5F* merupakan tipe aktuator dengan spesifikasi kemampuan angkat 1500 N, panjang angkat 100 sampai dengan 500 mm, *200* berarti *2* adalah tipe *feedback 4W reed (4P DIN) 0* plat dudukan tebal 10 mm, *0* dapat diposisikan terbalik; angka *400* merupakan jarak angkat maksimal 400 mm; angka *602* merupakan instalasi kolomnya (panjang angkat + 182 mm + 2 ketebalan plat dudukan); *D* adalah warna hitam kabel keluaran.
3. *Linear guide way* untuk batangan luncur dengan paket sepatunya dari produk Hiwin dengan kode *HIWIN HGR25 rail ways* yaitu tipe seri *HG* untuk beban berat, *R* dengan rel yang dapat ditukar tipe, *25* adalah ukuran model; dan *HGH25CA linear block bearing* dimana sesuai rel luncurnya dengan kemampuan dasar beban dinamis 34900 N.

Hasil akhir pembuatan ini adalah berupa satu sketsa sistem landasan mekanik NDE-RCT lengkap seperti terlihat pada Gambar 4 di atas yang akan menjadi acuan pada pekerjaan tahapan desain selanjutnya yaitu desain rinci.

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1. Kesimpulan**

Desain awal sistem landasan mekanik NDE-RCT telah dilakukan dengan beberapa tahapan-tahapan kerja yang dilaksanakan. Setelah dilakukan pekerjaan ini, maka dihasilkan satu desain dalam bentuk gambar sketsa yang akan menjadi gambaran atau acuan dalam pembuatan desain rinci dengan konfigurasi yang lebih detail.

### **5.2. Saran**

Kiranya diperlukan tinjauan teknis perhitungan desain untuk lebih menyempurnakan perangkat mekanik dalam skala produksi sebenarnya. Hal ini dapat dilakukan lebih lanjut dan dilengkapi dengan konfigurasi arah penembakan sinar X dan dapat dibuat deskripsi dalam makalah selanjutnya.

## **6. UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis sangat berterima kasih kepada bapak Krestedjo Kurnianto sebagai pemrakarsa kegiatan NDE-RCT, yang telah memberikan kesempatan keikutsertaan

Penulis dalam kegiatan ini. Apresiasi Penulis berikan kepada seluruh tim atas ide, saran dan kerja samanya dalam kegiatan ini.

## **7. DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. ZENIATI WAHYUNI IMRAN, 2017, *Program Manual Perencanaan Prototipe Digital Radiografi Dan CT Sinar-X Untuk Industri Manufaktur*, PM-WBS0-RFN-2017-RCT03, PRFN-BATAN.
- [2]. Krismawan, 2017, *Technical Note Prototipe Digital Radiografi Dan CT Sinar X Untuk Industri Manufaktur : Merencanakan Bentuk Konfigurasi Umum Mekanik*, TN-02-WP1.1-WBS0-RFN-2017-RCT03, PRFN-BATAN.
- [3]. <http://budikopen.blogspot.com/2013/12/batu-granit.html>, dibuka tanggal 15 April 2019.
- [4]. Linear Actuator, 2012, *Literature*, HIWIN Mikrosystem Corp.
- [5]. <https://cdn.linsk.com/-/media/file/data-sheet/en/lifting-column-lc2-data-sheet-eng.ashx>, dibuka tanggal 6 Mei 2019.
- [6]. Linear Guideways, 2018, *Technical Information*, HIWIN Technologies Corp.